

REPLANEJAMENTO DE UMA MANUFATURA CELULAR PARA MELHORIAS NO CONTROLE DE UM SISTEMA PRODUTIVO

ELLERY FERNANDES PRADO ALMEIDA (UFS)

elleryalmeida@gmail.com

Celso Satoshi Sakuraba (UFS)

sakuraba@ufs.br

Reynaldo Chile Palomino (UFS)

reychile@hotmail.com

Richard Andres Estombelo Montesco (UFS)

restomb@hotmail.com



O presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma fábrica de chuveiros elétricos do estado de Sergipe, onde se detectou uma necessidade de mudança da disposição dos recursos para melhoria do controle sobre os fluxos de processo. Após levantamento de dados e análise da situação atual, foram propostos três projetos de reagrupamento de postos de trabalho em células, baseados nos fluxos de materiais internos e externos ao processo produtivo, além da similaridade entre os subprodutos. Para todas as propostas foi realizado o balanceamento de linha de forma a maximizar a eficiência das estações de trabalho. A escolha da proposta final considerou não apenas a utilização dos recursos, mas também a suposta facilidade no monitoramento dos fluxos de produção.

Palavras-chave: Manufatura celular; balanceamento de linha; estudo de caso

1. Introdução

Com a globalização a cada dia mais consolidada e com as ferramentas de comunicação (internet, telefone, etc.) cada vez mais acessíveis à população, as empresas passam a não competir somente com o mercado local e seus arredores. Em diversos meios de atuação, elas se encontram em um ambiente competitivo extremamente abrangente, que em alguns casos atinge níveis mundiais. Diante do cenário atual de extrema concorrência, as empresas buscam constantemente novas maneiras de se manterem competitivas no mercado. Atualmente, as empresas modernas investem na inovação e no desenvolvimento de novos produtos, com a finalidade de atender às necessidades impostas por clientes e superar seus concorrentes na disputa pelo mercado. Com isso, elas passam a ofertar uma grande variedade de produtos, o que provoca a necessidade de uma melhor organização de seu ambiente interno, evitando aumento dos custos ou diminuição da produtividade.

Existem várias maneiras de se melhorar a produtividade de uma fábrica. Uma delas é através de um projeto de arranjo físico adequado às suas operações. Para a definição do arranjo físico ideal, é necessário que se conheça as características de cada produto, e dos respectivos processos necessários à sua produção. Além disto, a programação da produção é também fator importante para a otimização da produtividade. É possível reduzir tempos desperdiçados durante a produção estabelecendo um plano de produção onde os produtos são sequenciados de uma forma lógica e racional. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo para propor melhorias em um sistema produtivo através de técnicas para desenvolvimento de manufatura celular, propondo a formação de células balanceadas e facilitando o planejamento e o controle da produção.

2. Fundamentação teórica

2.1. Sistemas de produção

Segundo Moreira (2008), um sistema de produção pode ser definido como um conjunto de atividades e operações que se relacionam com a finalidade de se produzir bens ou serviços. Os mesmos autores classificam os sistemas de produção em três grandes tipos, sistemas de produção contínua, sistemas de produção intermitente e sistemas de produção por projeto, descritos a seguir.

Sistema de produção contínua – Neste tipo de sistema, os produtos são bastante padronizados e normalmente produzidos em grandes quantidades. O produto flui, entre os processos de transformação necessários à sua produção, seguindo sempre uma sequência pré-estabelecida.

Sistema de produção intermitente – Neste tipo de sistemas, os produtos são fabricados em lotes. Ao final da produção do lote de um produto, inicia-se a produção do lote de outro produto, de forma que os produtos não sejam fabricados de forma contínua.

Sistema de produção por projeto - O sistema de produção por projeto é aplicado em casos nos quais os produtos possuem baixa demanda e alta variedade; quase sempre são produtos únicos, exclusivos.

Com relação ao tipo de sistema de produção a ser definido por uma organização, o mesmo vai estar condicionado a uma série de fatores, tais como: demanda, complexidade de produção e flexibilidade do sistema.

2.2. Arranjo físico

Dentre as características de um sistema de produção, o arranjo físico é a que possibilita com mais facilidade perceber o funcionamento do sistema. Segundo Slack et al. (2009), o arranjo físico define como os recursos de uma operação ou processo são posicionados, além da alocação das diversas tarefas a esses recursos. Na literatura encontram-se quatro tipos de arranjos físicos que são: a) o arranjo físico por processo, b) o arranjo físico por produto, c) o arranjo físico posicional e d) o arranjo físico celular.

Arranjo físico por processo - No arranjo físico por processo, realiza-se o agrupamento de centros de trabalho de acordo com sua função. Os materiais (ou pessoas) deslocam-se entre os centros conforme necessário (MOREIRA, 2008).

Arranjo físico por produto - De acordo com Corrêa e Corrêa (2008), o arranjo físico por produto é mais adequado na produção de grandes volumes de produtos que percorrem uma sequência muito similar de operações. Os recursos em geral são dispostos em forma de linha, seguindo a ordem de operações.

Arranjo físico celular - No arranjo celular, os recursos transformadores são agrupados em células. Cada célula é planejada para produzir determinada família de produtos que possuem

características de produção semelhantes, ou seja, que exigem as mesmas máquinas e possuem configurações similares (SLACK et al., 2009).

Arranjo físico posicional – Este é um tipo de arranjo diferente dos três anteriores. Nele, o produto fica estacionário, enquanto os recursos são trazidos em sua direção. É apropriado para grandes projetos, onde a movimentação dos produtos é difícil ou mesmo inviável (SLACK et al., 2009).

2.3. Manufatura celular

Segundo Ribeiro (2010), o projeto de uma manufatura celular consiste em classificar o conjunto de peças a serem produzidas em famílias e as máquinas disponíveis em grupos, de modo que cada família seja associada a determinado grupo de máquinas. A manufatura celular é uma aplicação da filosofia de tecnologia de grupo para projetar determinado sistema de manufatura. A ideia central da Tecnologia de Grupo é melhorar a produtividade do sistema produtivo através do agrupamento de peças e produtos com características similares e da formação de células de produção com um grupo de diferentes máquinas e/ou processos (MAHDAVI et al., 2010).

No projeto de uma célula de manufatura, cada grupo de máquinas/processos pode assumir uma estrutura de trabalho específica de acordo com as características de produção da família de peças associadas a este grupo. Dentro de um mesmo sistema produtivo, cada célula pode possuir layout diferente. Na manufatura celular agrupa-se as máquinas em células, que são equivalentes a ilhas de produção dentro de um processo maior (GAITHER e FRAZIER, 2006).

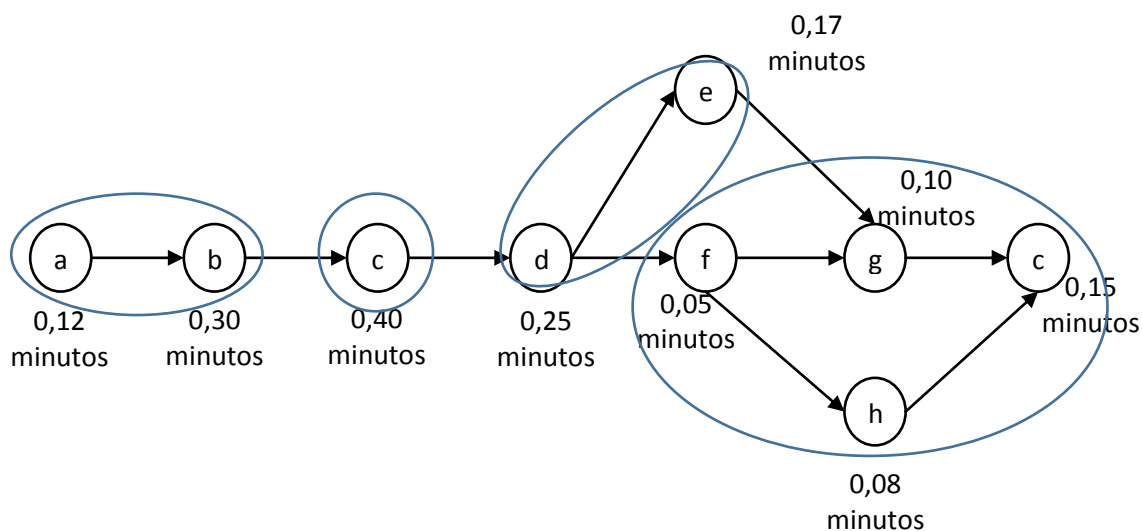
A implementação de um sistema de manufatura celular pode aumentar a produtividade, o que é essencial para a sobrevivência no atual cenário industrial mundial, extremamente competitivo. O projeto de um sistema de manufatura geralmente inicia com duas etapas fundamentais: formação das células (agrupamento de máquinas) e formação de família de peças. Estas duas etapas iniciais são de extrema importância e determinantes para o sucesso da implementação de uma manufatura celular (WANG e ROZE, 1994). A análise da formação de famílias geralmente se dá através da análise do fluxo de produção, agrupando peças cujas operações estejam próximas no fluxo, ou por similaridade entre as mesmas.

2.4. Balanceamento da produção

O balanceamento da produção consiste em alocar tarefas a estações de trabalho com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo da produção. No balanceamento da manufatura, é importante levar em consideração que o tempo de operação das máquinas pode variar para cada produto e que o tempo demandado por cada produto pode variar entre os processos produtivos (TAKANO e RODRIGUES, 2010).

Portanto, o objetivo do balanceamento de produção é fazer com que um processo produza a mesma quantidade do processo precedente. Em um sistema balanceado, os processos de produção devem estar organizados e dispostos de uma forma que facilite a produção da quantidade necessária, no momento necessário (SHINGO, 1996). Cabe observar que o perfeito balanceamento de uma linha de produção é obtido quando os tempos de ciclo de todas as estações de trabalho se igualam ao tempo de ciclo desejado (DALMAS, 2004). A Figura 1 mostra uma linha de montagem com um tempo de ciclo de 0,42 minutos.

Figura 1 – balanceamento de uma linha de montagem



Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009)

2.5. Estratégia de tomada de decisão

Em uma unidade fabril, é de fundamental importância manter as estratégias de mercado alinhadas às estratégias de produção. Chamamos de estratégia de manufatura de uma empresa o conjunto de decisões que visa melhorar o desempenho nos critérios competitivos relacionados aos objetivos da mesma (MARTINS e LAUGENI, 2005).

Segundo Slack et al. (2009), a estratégia pode ser considerada como um conjunto de decisões que definem a direção a ser tomada pela organização. Sendo assim, estratégia é mais que uma

só decisão: é um padrão de tomada de decisões que posicionam a organização em seu ambiente, tendo como meta fazer com que a organização atinja os seus objetivos.

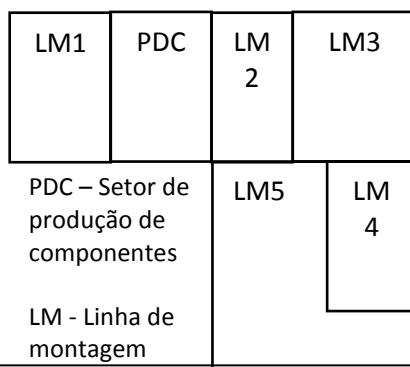
Portanto, toda e qualquer decisão tomada no chão de fábrica deve levar em consideração os objetivos gerais da organização. De acordo com Martins e Laugeni (2005), o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) é uma área importante na definição de estratégias para a organização como um todo, tendo em vista que o ele recebe informações contínuas e vitais para o bom andamento da produção, tais como estoques, previsão de demanda, mix de produtos e processos produtivos e capacidade produtiva. Além disto, segundo Slack et al. (2009), o PPCP é responsável por decidir qual o melhor emprego dos recursos de produção, sendo o principal setor responsável em traduzir estratégias da organização em estratégias de manufatura e/ou estratégias de médio e longo prazo em estratégias de curto prazo.

3. Estudo de caso

A empresa estudada trabalha no ramo de produção de chuveiros elétricos em termo-plásticos. Atualmente, a empresa possui um amplo portfólio de produtos, atendendo aos diversos tipos de clientes do mercado atual. Em épocas de pico de produção, atinge-se uma produção média de 18.000 unidades por dia.

O setor de Produção de Componentes (PDC), que é alvo deste estudo, é responsável pela produção de diversos tipos de componentes do produto final, que possuem a mesma funcionalidade e são demandados pelas diversas linhas de montagem dos produtos finais. Estes componentes variam de acordo com o produto final no qual serão montados, mas todos possuem a mesma função no produto final. A Figura 2 representa a área das linhas de montagem e mostra a localização relativa entre o setor PDC e as cinco Linhas de Montagem (LM1, LM2, LM3, LM4 e LM5).

Figura 2 – Área das linhas de montagem



Fonte: Elaborado pelos autores

Atualmente, este setor produz aproximadamente 25.000 produtos por dia, com uma variedade de mais de 20 tipos de produtos diferentes, e possui um total de 70 postos de trabalho (PT) distribuídos de acordo com o tipo de processo que executam. Cada PT é constituído de uma máquina e/ou uma ferramenta manual, e necessita sempre de um operador para execução das tarefas.

Para a formação de famílias de produtos, foi utilizada a técnica de Análise do Fluxo de Produção, uma das técnicas mais utilizadas para a formação de famílias de produtos. Tal técnica realiza o agrupamento de produtos que seguem o mesmo fluxo de produção, simplificando a movimentação de materiais e de pessoas dentro do ambiente fabril.

O setor PDC produz componentes para abastecer as cinco linhas de montagem existentes dentro da própria fábrica. Desta forma, duas análises foram realizadas: a análise do fluxo de produção externo, que estuda o fluxo dos produtos considerando toda a fábrica, i.e., a chegada da matéria prima e a saída do produto para as linhas de montagem; e o fluxo de produção interno, que estuda o caminho que os produtos percorrem dentro do setor entre suas operações até que estejam prontos para serem entregues às linhas de montagem do produto final. Também foi utilizada a Análise da Similaridade de Subprodutos, que é uma alternativa às análises dos fluxos de produção é a análise da similaridade entre os subprodutos demandados pelos produtos, de forma a gerar famílias que simplifiquem o fluxo de entrada destes subprodutos em cada operação, minimizando assim os tempos de *setup* para troca dos subprodutos.

Atualmente, a empresa trabalha uma média de 22 dias por mês, com 8,8 horas trabalhadas por dia. Tendo em vista que existe um programa de ginástica laboral em prática na unidade fabril com cinco sessões de ginástica ao longo do dia, cada uma com duração entre 10 e 14 minutos, totalizando uma média de uma hora por dia, é preciso descontar estas horas não trabalhadas das horas trabalhadas totais. Assim, as horas trabalhadas passam de 8,8 para 7,8 horas por dia, totalizando 171,6 horas (ou 617.760 seg.) por mês.

As famílias de produtos definidas de acordo com as similaridades dos fluxos externos ao setor são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Definição das famílias de produtos pelo fluxo de produção externo

familia	Destino	componentes
1	linha e montagem 1	P1; P2; P3
2	linha de montagem 2	P4; P5; P6; P7; P8
3	Linha de montagem 3	P88; P9; P10; P11; P12
4	Linha de montagem 4	P13; P14; P15; P16; P17
5	Linha de montagem 5	P18; P19; P20; P21

Fonte: Elaborado pelos autores

Agrupando os produtos de acordo com o fluxo de produção interno, os quais demandam o mesmo fluxo em uma mesma família, obtemos a distribuição mostrada no Quadro 2.

Quadro 2 - Definição das famílias de produtos pelo fluxo de produção interno

Fluxo	Família	componentes
Fluxo de produção 1	Família 1	P1; P2; P3; P6; P8; P9; P10; P11; P12; P16; P20
Fluxo de produção 2	Família 2	P7; P13; P14; P15; P17; P21
Fluxo de produção 3	Família 3	P4; P5
Fluxo de produção 4	Família 4	P18; P19

Fonte: Elaborado pelos autores

Com as famílias definidas para cada tipo de análise do fluxo de produção (externo, interno e similaridade), a próxima etapa consiste em executar técnicas de balanceamento de linhas de produção com o objetivo de definir a quantidade de postos de trabalho necessários para que cada família seja produzida de acordo com sua demanda.

Para executar os cálculos do balanceamento, o primeiro passo é obter o tempo de ciclo desejado para cada produto utilizando dividindo o tempo disponível por mês (em segundos) pela demanda mensal do produto, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de ciclo para cada produto

Produto	Demanda	Tpo de ciclo (seg/pç)	Produto	Demanda	Tpo de ciclo (seg/pç)
P1	98.500	6,27	P12	124.000	4,98
P2	50.000	12,36	P13	7.000	88,25
P3	108.000	5,72	P14	9.000	68,64
P4	8.500	72,68	P15	10.500	58,83
P5	6.000	102,96	P16	8.000	77,22
P6	3.000	205,92	P17	14.500	42,6
P7	8.500	72,68	P18	3.250	190,08
P8	10.000	61,78	P19	11.150	55,4
P9	50.000	12,36	P20	12.500	49,42
P10	20.500	30,13	P21	16.000	38,61
P11	5.000	123,55			

Fonte: Elaborado pelos autores

3.1. Análise do número de postos de trabalho

Foram utilizadas três análises para o cálculo do número de postos de trabalho ideal: pelo fluxo de produção externo, pelo fluxo de produção interno e por similaridade entre os subprodutos. Nesta seção mostraremos como foi feita a análise através do fluxo de produção externo, com as outras análises funcionando de maneira similar.

A análise pelo fluxo de produção externo dividiu os produtos em cinco famílias diferentes, conforme mostrado no Quadro 1. Os cálculos de balanceamento definirão quantos postos de trabalho de cada operação são necessários em cada centro de trabalho para que estes sejam capazes de produzir a demanda esperada. Um exemplo do total de postos de trabalho para a família 1 é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Número de postos de trabalho necessários por centro de trabalho

Centro de Trabalho=>	CT1	CT2	CT3		CT4	CT5
OPERAÇÃO=>	OP1	OP3	OP4	OP8	OP10	OP11
POSTO DE TRABALHO=>	PT 1	PT2	PT 2	PT3	PT4	PT5
P1	0,82	0,48	0,64	1,44	1,15	1,44
P2	0,65	2,87	0,32	1,66	0,58	2,99
P3	1,40	0,52	0,70	1,57	1,26	1,57
Total Família 1	3	3	4	3	4	

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com a Tabela 2, referente ao balanceamento dos postos de trabalho para a família 1, a operação 1 (OP1), para ser executada, necessita de 2,87 postos de trabalho PT1 (0,82 para produzir P1; 0,65 para produzir P2 e; 1,40 para produzir P3). Na prática, como não é possível obter exatamente 2,87 postos, o número de postos de trabalho foi arredondado para cima, de forma que o número de postos de trabalho PT1 necessários para que o centro de trabalho CT1

possua capacidade para executar a operação OP1 para a família 1 é três. A Tabela 3 mostra um resumo dos centros de trabalho para todas as famílias. A última linha da tabela mostra quantos postos de trabalho são necessários ao setor por inteiro para produzir todos os produtos de todas as famílias.

Como mostrado na Tabela 3, a produção de todos os produtos de todas as famílias demanda 9 postos de trabalho PT1, 9 postos de trabalho PT2, 4 postos de trabalho PT6, 10 postos de trabalho PT3, 3 postos de trabalho PT7, 10 postos de trabalho PT4 e 10 postos de trabalho PT5. O agrupamento dos postos de trabalho em centros de trabalho referente à análise pelo fluxo de produção externo é exibido no Quadro 3 e uma possível configuração (arranjo físico) do setor é mostrada na Figura 3.

Tabela 3 - Número de postos de trabalho necessários por centro de trabalho para as cinco famílias

Posto de Trabalho		PT1		PT2			PT6		PT3	PT7	PT4	PT5
Operação		OP1	OP2	OP3	OP4	OP7	OP5	OP6	OP8	OP9	OP10	OP11
Família 1	P1											
	P2	2,87	0	1,25	1,68	0	0	0	3,74	0	2,99	3,74
	P3											
Total Família 1		3		3			0		4	0	3	4
Família 2	P4											
	P5	0,17	0,15	0,15	0,14	0,22	0,11	0,11	0,06	0,45	0,17	0,45
	P6											
	P7											
Total Família 2		1		1			1		1	1	1	1
Família 3	P8											
	P9											
	P10	2,19	0	1,02	1,36	0	0	0	2,03	0	3,05	2,44
	P11											
	P12											
Total Família 3		3		3			0		3	0	4	3
Família 4	P13											
	P14											
	P15	0,50	0,37	0,28	0,34	0,40	0,53	0,53	0,12	0,80	0,76	0,84
	P16											
	P17											
Total Família 4		1		1			2		1	1	1	1
Família 5	P18											
	P19	0,48	0,24	0,22	0,29	0,30	0,39	0,39	0,18	0,59	0,33	0,69
	P20											
	P21											
Total Família 5		1		1			1		1	1	1	1
Total do setor		9		9			4		10	3	10	10

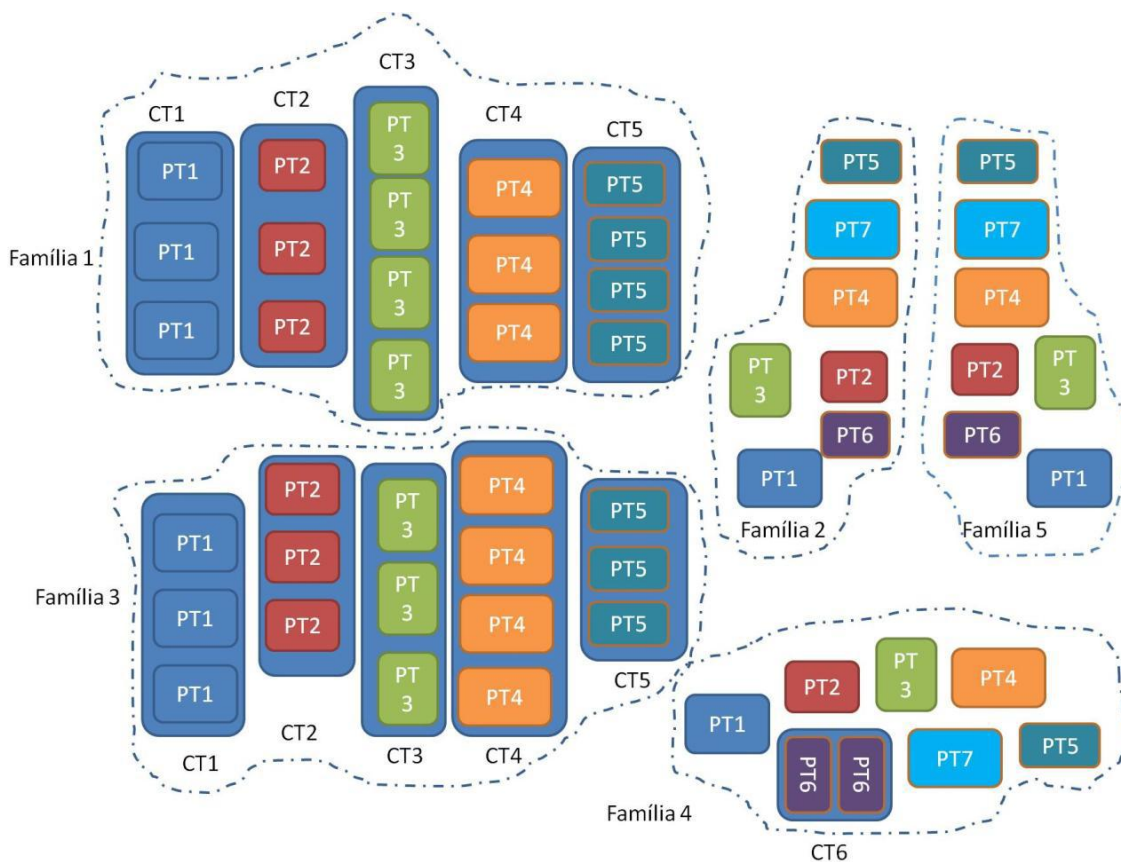
Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 3 - Composição dos Centros de Trabalho para cada família

Família	Centro de Trabalho	Composição dos Centros de Trabalho	Família	Centro de Trabalho	Composição dos Centros de Trabalho
Família 1	CT1	3 PT1	Família 4	CT1	1 PT1
	CT2	3 PT2		CT2	1 PT2
	CT3	4 PT3		CT6	2 PT6
	CT4	3 PT4		CT3	1 PT3
	CT5	4 PT5		CT7	1 PT7
Família 2	CT1	1 PT1	Família 5	CT4	1 PT4
	CT2	1 PT2		CT5	1 PT5
	CT6	1 PT6		CT1	1 PT1
	CT3	1 PT3		CT2	1 PT2
	CT7	1 PT7		CT6	1 PT6
Família 3	CT4	1 PT4		CT3	1 PT3
	CT5	1 PT5		CT7	1 PT7
	CT1	3 PT1		CT4	1 PT4
	CT2	3 PT2		CT5	1 PT5
	CT3	3 PT3			
	CT4	4 PT4			
	CT5	4 PT5			

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3 - Proposta de arranjo físico após a definição dos PT



Fonte: Elaborado pelos autores

De forma semelhante, foram obtidos os centros de trabalho para o fluxo de produção interno e para a similaridade entre os subprodutos. O Quadro 4 mostra um resumo dos postos de trabalho.

Quadro 4 - Resumo do total de postos de trabalho demandados por cada análise

		PT1	PT2	PT6	PT3	PT7	PT4	PT5	Total
Nº atual =>		11	13	4	10	6	14	12	70
Fluxo de produção externo	demandado	9	9	4	10	3	10	10	55
	excedente	2	4	0	0	3	4	2	15
Fluxo de Produção interno	demandado	10	10	3	7	4	8	11	53
	excedente	1	3	1	3	2	6	1	17
Similaridade	demandado	11	11	4	9	5	10	12	62
	excedente	0	2	0	1	1	4	0	8

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2. Análise das eficiências

A seguir foram calculadas as eficiências dos balanceamentos para cada alternativa, dividindo o Tempo de Ciclo Desejado para cada família pelo o Tempo de Ciclo Médio para cada família em cada centro de trabalho. As eficiências dos balanceamentos para cada família são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Eficiência do Balanceamento após a divisão dos postos de trabalho

Análise realizada	Família	Eficiência do balanceamento	Média Ponderada das eficiências
Fluxo de produção externo	Família 1	95,78 %	80,19%
	Família 2	31,01%	
	Família 3	75,55%	
	Família 4	63,16%	
	Família 5	58,88%	
Fluxo de produção interno	Família 1	90,64%	85,44%
	Família 2	71,70%	
	Família 3	26,40%	
	Família 4	30,69%	
	Família 1	83,94%	75,48%
	Família 2	75,55%	
	Família 3	26,40%	
	Família 4	16,54%	
	Família 5	53,62%	
	Família 6	30,69%	

Fonte: Elaborado pelos autores

Além das médias mostradas na tabela, em algumas situações o balanceamento dos postos de trabalho já foi suficiente para propor um fluxo balanceado, atingindo uma eficiência de até 95%. Porém, mesmo após a divisão dos postos de trabalho de forma balanceada, o fluxo de produção da maioria das famílias ainda não está com um balanceamento ótimo. Isto acontece porque em todos os cálculos de quantidade de postos de trabalho o resultado encontrado é um número não inteiro. Tendo em vista que um posto de trabalho não é divisível, há a necessidade se arredondar o valor encontrado para o número inteiro imediatamente superior. Como forma de demonstrar com mais detalhes o balanceamento dos postos de trabalho realizado até aqui, foi realizada uma análise dos índices de utilização para cada centro de trabalho.

3.3. Análise da utilização dos centros de trabalho

Para determinar a utilização de cada centro de trabalho, basta dividir o Tempo de Ciclo Projetado sobre o Tempo de Ciclo Desejado. Vale ressaltar que estes índices de utilização esperada representam uma projeção da utilização dos Centros de Trabalho, caso o Tempo de Ciclo Projetado seja atingido na prática. A Tabela 5 mostra os índices de utilização para a família 1 da análise pelo fluxo de produção externa.

Tabela 5 - Utilização esperada por Centro de Trabalho

Análise	Família	CT1	CT2	CT6	CT3	CT7	CT4	CT5
Fluxo de Produção Externo	Família 1	95,54%	96,88%	-	93,42%	-	99,65%	93,42%
	Família 2	31,90%	50,95%	22,02%	5,83%	44,68%	16,75%	44,92%
	Família 3	73,08%	79,13%	-	67,83%	-	76,30%	81,39%
	Família 4	87,32%	50,03%	53,10%	11,66%	79,64%	76,10%	84,26%
	Família 5	72,75%	80,70%	78,74%	18,21%	59,05%	33,22%	69,49%
Fluxo de Produção Interno	Família 1	89,70%	92,44%	-	87,55%	-	90,35%	93,16%
	Família 2	58,51%	71,28%	84,82%	-	63,62%	97,80%	54,15%
	Família 3	15,25%	34,03%	-	-	28,17%	-	28,17%
	Família 4	27,34%	32,87%	37,30%	-	27,97%	-	27,97%
Similaridade	Família 1	92,08%	94,51%	79,00%	80,71%	59,25%	92,41%	89,60%
	Família 2	73,08%	79,13%	-	67,83%	-	76,30%	81,39%
	Família 3	15,25%	34,03%	-	-	28,17%	-	28,17%
	Família 4	16,65%	21,29%	22,02%	5,83%	16,51%	16,75%	16,75%
	Família 5	51,02%	60,48%	68,64%	-	51,48%	38,61%	51,48%
	Família 6	27,34%	32,87%	37,30%	-	27,97%	-	27,97%

Fonte: Elaborado pelos autores

Analisando a Tabela 5, é possível perceber que poucas famílias já possuem um fluxo de produção balanceado, com pequenos desvios entre as utilizações de seus centros de trabalho e com altos índices de utilização. Porém, na maioria das famílias há uma grande divergência nas utilizações dos centros de trabalho e uma grande quantidade de Centros de Trabalho com baixa utilização.

Esta análise da utilização esperada em todos os centros de trabalho facilita a visualização dos centros de trabalho com maior tempo ocioso, que representam um potencial de aumento de demanda por seus produtos sem que haja a necessidade de aumento dos postos de trabalho existentes, e dos centros de trabalho com maior potencial de se transformarem num gargalo do processo produtivo do setor.

Se um centro de trabalho apresenta uma utilização próxima de 100%, isto significa que este centro não possuirá tolerância de tempo para possíveis manutenções, ineficiências de operador, etc. Como o objetivo deste trabalho é também propor um fluxo de produção balanceado, existe a necessidade de se realizar um balanceamento de tarefas, reduzindo assim, a grande variação de utilização dos centros de trabalho.

3.4. Balanceamento das tarefas

O balanceamento de tarefas consiste em agrupar ou separar operações, de forma que o tempo de ciclo de produção de cada estação de trabalho se aproxime do tempo de ciclo desejado para a produção do setor, tornando assim o fluxo balanceado. Após o novo balanceamento, foram calculadas novamente as eficiências, as quais são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 – Eficiência final do balanceamento

	Família	Eficiência inicial	Eficiência final	
Fluxo de produção externo	Família 1	95,78 %	95,78%	82,82%
	Família 2	31,01%	54,26%	
	Família 3	75,55%	75,55%	
	Família 4	63,16%	73,66%	
	Família 5	58,88%	68,69%	
Fluxo de produção interno	Família 1	90,64%	90,64%	87,23%
	Família 2	71,70%	71,70%	
	Família 3	26,40%	52,82%	
	Família 4	30,69%	76,72%	
Similaridade	Família 1	83,94%	83,94%	78,57%
	Família 2	75,55%	75,55%	
	Família 3	26,40%	52,82%	
	Família 4	16,54%	57,89%	
	Família 5	53,62%	64,34%	
	Família 6	30,69%	76,72%	

Fonte: Elaborado pelos autores

3.5. Análise dos resultados

Apesar das várias formas de balanceamento utilizadas, todos os tipos de análises mostraram-se viáveis de acordo com os cálculos efetuados. Caso o presente estudo tivesse como objetivo projetar um setor do zero com as características definidas neste trabalho, a melhor alternativa seria a da análise do fluxo de produção interno, pois geraria um menor custo inicial por necessitar menos postos de trabalho. Porém, como o setor já está implantado, a decisão entre os tipos de análises deve levar em consideração as estratégias de médio e curto prazo da empresa. Neste caso, tendo em vista que um dos principais problemas do setor atual é a dificuldade no controle do processo produtivo, a melhor análise a ser aplicada seria a análise pelo fluxo de produção externo. Esta análise apresentou células mais equilibradas em relação à quantidade de produtos por célula e à demanda de cada célula, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuição dos produtos e demanda de cada família

	Família	Número de Produtos em cada família	Demanda de cada família
Fluxo de produção externo	Família 1	3	256.500
	Família 2	4	26.000
	Família 3	5	209.500
	Família 4	5	49.000
	Família 5	4	42.900
Fluxo de produção interno	Família 1	11	489.500
	Família 2	6	65.500
	Família 3	2	14.500
	Família 4	2	14.400
Similaridade	Família 1	7	307.500
	Família 2	5	209.500
	Família 3	2	14.500
	Família 4	2	11.500
	Família 5	3	26.500
	Família 6	2	14.400

Fonte: Elaborado pelos autores

Na Tabela 7, nota-se que a quantidade de produtos em cada família na análise pelo fluxo de produção externo varia apenas entre 3 e 5, enquanto na análise pelo fluxo de produção interno, ela varia entre 2 e 11 produtos por família. Com relação à demanda, a análise pelo fluxo de produção interno, que apresentou melhores índices de balanceamento, possui a

desvantagem de possuir muitos produtos e uma demanda muito alta em uma só célula. Esta característica poderia continuar gerando dificuldades no controle e nos fluxos de produção do setor.

A análise pela similaridade seria uma alternativa à análise pelo fluxo de produção externo, tendo em vista que apesar de não ser a melhor análise com relação ao controle do setor e possuir menor eficiência de balanceamento entre as três análises realizadas, apresenta maior equilíbrio entre suas células com relação à análise pelo fluxo de produção interno, e possui como principal vantagem, a redução de *setups* devido à diminuição de trocas de subprodutos.

4. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi propor mudanças em um setor produtivo organizado por processos visando obter melhorias na eficiência e no controle da produção. A manufatura celular surge como uma forma de flexibilizar um sistema produtivo com médios ou altos volumes de produção, sendo eficientemente desenvolvida através da otimização de uma manufatura organizada por processo.

Desta forma, técnicas de balanceamento foram utilizadas com a finalidade de planejar uma manufatura celular balanceada. Três análises distintas foram realizadas e, ao final deste trabalho, apesar da diferença entre as eficiências dos balanceamentos, todas as três propostas de mudanças se mostraram aplicáveis em relação à situação atual do setor. Cada proposta realizada possui características específicas, levadas em consideração na escolha da solução final.

A escolha entre uma das três análises realizadas levou em consideração as estratégias gerais da empresa. Atualmente, os maiores problemas identificados no setor analisado estão relacionados com seu controle produtivo. Utilizando este critério, a melhor alternativa foi adotar a manufatura celular proposta através da análise pelo fluxo de produção externo, que possui um maior equilíbrio entre a quantidade de produtos em cada célula, facilitando o controle dos fluxos.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. ed. compacta. São Paulo: Atlas, 2008.

DALMAS, V. **Avaliação de um layout celular implementado**: um estudo de caso em uma indústria de autopeças. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado em engenharia de produção – UFRGS, Porto Alegre, 2004.

GAITHER, N.; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8.ed. Traduzido por José Carlos Barbosa dos Santos. Revisado por Petrônio Garcia Martins. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

MAHDAVI, I et al. **A mathematic Model for Integrating Cell Problem with Machine Layout**. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, ? ,Volume 21, number 2, pp. 61-70, 2010

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2.ed. rev, aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2005.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Cengage Learning: 2008.

RIBEIRO, J. F. F. **Manufacturing Cells Formation Based on Graph Coloring**. *Journal of Service & Management*.v.3, p. 494-500, 2010

SHINGO, S. **O sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. Traduzido por Henrique Luiz Corrêa. São Paulo: Atlas, 2009.

TAKANO, M. I.; RODRIGUES, L. C. A. de. **Sequenciamento e Balanceamento de uma célula flexível de manufatura usando programação inteira mista**. XLIISBPO: Bento Gonçalves, 2010.

WANG, J.; ROZE, C. **Formation of Machine Cells and Part Families in Cellular Manufacturing: A linear Integer Programming Approach**. *Industrial Technology*, 1994. *Proceedings of the IEEE International Conference on*. p. 350-354, 1994.